

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra částí a mechanismů strojů

Dílenský rámový lis do 20 tun

Workshop Frame Press up to 20 Tons

Student:

Jan Grulich

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Daniel Pišťáček Ph.D.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra částí a mechanismů strojů

Zadání bakalářské práce

Student:

Jan Grulich

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2302R010 Konstrukce strojů a zařízení

Specializace:

40 Konstrukce strojních dílů a skupin

Téma:

Dílenský rámový lis do 20 tun
Workshop Frame Press up to 20 Tons

Zásady pro vypracování:

Navrhnete dílenský rámový lis s hydraulickým čerpadlem s lisovací silou do 20t. Proved'te přehled možných variant řešení lisu a pevnostně zkontrolujte nejvíce namáhané části lisu. Nakreslete sestavný výkres rámového lisu a výrobní výkres vybrané součásti lisu.

Seznam doporučené odborné literatury:

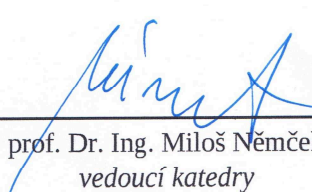
1. Bolek,A.; Kochman,J. *Části strojů I*. Praha: SNTL, 1989. 775s. ISBN 80-03-00046-7
2. Dejl,Z. *Konstrukce strojů a zařízení I*. Ostrava: Montanex, 2000. 225s. ISBN 80-7225-018-3
3. Kaláb,K. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře, Části spojovací*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. 90s. ISBN 978-80-248-1290-8
4. Kříž,R.; Vávra,P.; *Strojnická příručka. 3. Svazek.. Scientia*. Praha, 1993. 254s. ISBN 80-85827-23-9
5. Leinveber,J.; Vávra,P. *Strojnické tabulky*. Albra-pedagogické nakladatelství, Úvaly, 2006. 914s. ISBN 80-7361-033-7
5. Němček,M. *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů. Druhé vydání. Spojé*. Skriptum VŠB-TU Ostrava. Ostrava, 2008. 111s. ISBN 978-80-248-1782-8
6. Normy, katalogy, prospekty a www-stránky k dané problematice

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Daniel Pišťáček, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014


prof. Dr. Ing. Miloš Němček
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne... 15.5.2014



podpis studenta

Prohlašuji, že

- Jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářskou práci bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mě požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne: 16. 5. 2014



podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Jan Grulich

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Štárnov 112, 783 14, Bohuňovice

Anotace bakalářské práce

GRULICH, J. Dílenský rámový lis do 20 tun. Ostrava: katedra částí a mechanismů strojů, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2014, 37 s. Bakalářská práce, vedoucí Pišťáček, D.

V této bakalářské práci se zabývám konstrukčním řešením dílenského rámového lisu s lisovací silou do 200 kN. V první části práce jsem rozdělil lisy obecně podle vyvozené síly, dále jsem se zaměřil na rozdělení dílenských lisů a to podle zdroje tlakové energie a konstrukce rámu. Následuje návrh hydraulického obvodu a návrh rámu lisu. Rám jsem řešil analyticky a pro kontrolu graficky metodou konečných prvků. Dále jsem provedl kontrolu nejvíce namáhaných částí. V příloze mám sestavný výkres rámového lisu a výrobní výkres lisovacího lože.

Annotation of thesis

GRULICH, J. Workshop Frame Press up to 20 Tons. Ostrava: Department of Machine Parts and Mechanism, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2014, 37 p. Thesis, head: Pišťáček, D.

This bachelor thesis deals with construction solutions of workshop frame with press up to 200 kN. The first part of this thesis is about generally distribution of presses by exerting force, then about distribution of workshop frames by source of pressure energy and construction of frames. The following part is a draft of the hydraulic circuit and draft of the frame. The frame was solved analytically and graphically control is by the finite element method. I also carried out control of the most strained parts. In annex is assembly drawing of the workshop frame and production drawing of stamping bed.

Obsah

Obsah	6
Seznam použitých značek	7
1 Úvod	9
2 Lisy	10
2.1 Definice	10
2.2 Rozdělení podle způsobu vyvození síly	10
2.3 Dílenské lisy	12
3 Hydraulický obvod	18
3.1 Řešení hydraulického obvodu	18
3.2 Výpočet hydraulického obvodu	19
3.2.1 Hydraulický válec	19
3.2.2 Hydraulické čerpadlo poháněné elektromotorem	19
4 Návrh rámu	21
5 Pevnostní výpočty	22
5.1 Analytické řešení	22
5.1.1 Určení momentů setrvačnosti a stanovení ohybových momentů	23
5.2 Řešení metodou konečných prvků	27
5.3 Kontrola nebezpečných míst lisu	29
5.3.1 Horní nosník	29
5.3.2 Stojiny rámu	29
5.3.3 Lisovací lože	30
5.3.4 Čep	31
5.3.5 Spojení stojin s horním nosníkem pomocí nýtů	32
6 Závěr	34
7 Seznam použité literatury	35
Seznam příloh	37

Seznam použitých značek

A_x, A_y	osové reakce podpory	$[mm]$
E	modul pružnosti v tahu	$[MPa]$
F	síla	$[N]$
J	polární moment setrvačnosti	$[m^4]$
J_x, J_y	statický průřezový moment	$[m^4]$
J_z	moment setrvačnosti	$[m^4]$
M	vnitřní ohybový moment	$[Nm]$
M_A	momentová reakce podpory	$[Nm]$
M_o	ohybový moment	$[Nm]$
N	normálová síla	$[N]$
$Q_{\check{c}2}, Q_{\check{c}1}$	výtlak čerpadla	$[l \cdot min^{-1}]$
R_e	mez kluzu materiálu	$[MPa]$
S	průřez	$[mm^2]$
S_e	účinná plocha pístu	$[mm^2]$
W_o	modul odporu průřezu v ohybu	$[mm^3]$
b	šířka	$[mm]$
d	průměr	$[mm]$
e	vzdálenost těžiště	$[mm]$
h	výška	$[mm]$
k	součinitel bezpečnosti	$[-]$
l	délka	$[mm]$
n	počet nýtů	$[-]$
p	tlak	$[MPa]$
p_D	dovolený tlak	$[MPa]$
s	délka	$[mm]$

t	tloušťka	$[mm]$
v_l, v_p	rychlost	$[mm \cdot s^{-1}]$
σ	normálové napětí	$[MPa]$
σ_o	ohybové napětí	$[MPa]$
σ_t	tahové napětí	$[MPa]$
τ	smykové napětí	$[MPa]$
φ	úhel natočení průřezu	$[^\circ]$
ω	průhyb	$[mm]$

1 Úvod

Rámové hydraulické lisy jsou velice rozšířené. Hojně se používají v malých dílnách a servisech. Mají řadu výhod. Tou největší je univerzálnost použití. Dále mají plynulou regulaci rychlosti a jsou schopny vyvinout velkou tvářecí sílu. Jejich konstrukce se odvíjí od velikosti pracovní síly. Rámové lisy se vyznačují snadným a rychlým přestavením lisovacího lože dle rozměrů výrobku či polotovaru.

Cílem této bakalářské práce je navrhnout dílensky rámový lis pro zatížení 200 kN. Hlavním úkolem je navrhnout konstrukci rámu lisu a jeho rozměry. Nejvíce namáhané části, budou kontrolovány staticky a měly by splnit podmínku minimální bezpečnosti $k = 1,5$. Při návrhu budou použity normalizované polotovary pro snížení ceny lisu. Dalším úkolem je vhodně zvolit pohon ovládání a typ hydraulického válce dle požadovaného zatížení.

2 Lisy

2.1 Definice

Působení síly (tlaku) na stlačované těleso. Následkem síly se těleso deformuje a mění svůj tvar. Lisy se dělí do skupin podle pohaněné energie, podle své stavby nebo způsobu použití.

2.2 Rozdělení podle způsobu vyvození síly

a) Mechanické lisy

Patří k nejvíce používaným tvářecím strojům. Nevýhoda těchto lisů spočívá v zátěžné síle, která může být tak velká, aby nepřesáhla jmenovitou, protože největší síla je těsně u dolní úvrati. Pohon je realizován pomocí klikového mechanismu. Ostatní jsou odvozené nebo kombinované. Hlavní dělení je podle převodového systému na výstředníkové, klikové, kolenové, šroubové a hřebenové.



Obr. 2.1 Výstředníkový lis [12]



Obr. 2.2 Šroubový lis [11]

b) Hydraulické lisy

Jsou to první mechanismy, kde byl použit hydraulický pohon. Princip je založen na rovnoměrném šíření kapaliny všemi směry (Pascalův zákon). V porovnání s mechanickými lisy mají řadu výhod. Maximální sílu lze odebrat v libovolném místě zdvihu a může dosahovat až 10^3MN . Dále mají plynulou regulaci tlaku a rychlosti. Nevýhody u těchto lisů je nižší účinnost, pomalejšímu chodu beranu, složitější údržba a vyšší pořizovací cena. Rozdělují se podle technologického použití na kovací, tažné, vytlačovací, dílenské, razící, rovnací a k tváření plastů.



Obr. 2.3 Ukázka kovacího lisu [10]



Obr. 2.4 Razicí lis [13]

2.3 Dílenské lisy

Rámové dílenské lisy jsou vhodné pro montážní práce jak v opravárenských a údržbářských dílnách, tak i pro jakoukoli výrobu. Dají se dělit podle různých kritérií. Ty hlavní:

a) podle zdroje tlakové energie:

- manuální
- pneumaticko-hydraulické
- s vlastním hydraulickým agregátem

b) podle konstrukce

- rám typu C
- rám typu H

Manuální pumpování

Ruční pumpy jsou jak pro jednočinné tak i dvojčinné hydraulické válce. Mají snadnou obsluhu a jsou nezávislé na přívodu energie. Máme také nožní pumpy, které jsou spíše pro jednočinné hydraulické válce a pro menší pracovní síly (100 – 200) kN. Jejich výhodou je, že obsluha má volné ruce.



Obr. 2.5 Ruční pumpa [6]



Obr. 2.6 Nožní pumpa [6]

Pneumaticko-hydraulické pumpování

Jedná se o miniaturní hydraulická čerpadla, která jsou poháněná motorem na stlačený vzduch a mohou být připojena na rozvod stlačeného vzduchu. Tyto čerpadla jsou cenově výhodná. Vstupní tlak hydraulického oleje se reguluje pomocí omezovače vzduchu. Ovládání přípojného hydraulického válce se vykonává manuálně (ručně i nožně) pomocí výkyvné páky.



Obr. 2.7 Pneumaticko – hydraulický pohon [6]

S vlastním hydraulickým agregátem

Jedná se o přenosná hydraulická čerpadla poháněná elektromotorem. Jsou koncipované speciálně pro údržbářské a montážní práce. Rozběh motoru je možný i při plném zatížení.



Obr. 2.8 Hydraulický agregát [6]

Rám typu H

Jedná se o uzavřenou konstrukci, která má větší tuhost než otevřená konstrukce. Velikost rámu se odvíjí od velikosti zatížení (100 – 2000) kN. Obvykle bývají svařované nebo sešroubované z normalizovaných profilů (nebo jinak spojeny například snýtovány). Velikost lisované součásti je omezena vnitřní vzdáleností mezi stojinami rámu a výškou mezi hydraulickým válcem a lisovacím ložem. Tyto rozměry se odvíjí od požadavků zákazníka. Tvar písmene „H“ dotváří pohyblivé lisovací lože, které je zajištěno pomocí čepů.

Způsoby řešení pro lisovací sílu do 200 kN

U těchto lisů je na výběr z několika zdrojů tlakové energie. Lze použít všechny dostupné typy. Ruční čerpadlo viz obr. 2.9 nebo nožní čerpadlo viz obr. 2.10



Obr. 2.9 Lis s ručním čerpadlem [7]



Obr. 2.10 Lis s nožním čerpadlem [7]

Hydraulická čerpadla pohaněná motorem na stlačený vzduch viz obr. 2.11 a také s hydraulickým agregátem viz obr. 2.12



Obr. 2.11 Lis pohaněný stlačeným vzduchem [7]



Obr. 2.12 Lis s agregátem [5]

Dále se také liší použitým hydraulickým válcem. Lze použít jak jednočinný tak i dvojčinný válec. Tyto válce bývají vybaveny vratnou pružinou pro pohyb uvolnění nebo se pružiny přidávají přímo na rám viz obr. 2.13



Obr. 2.13 Dílenský lis s vratnými pružinami [9]

Lisy pro větší zatížení (200 – 2000)kN

Tyto lisy jsou větší robustnější vybavené strojovým posuvem lisovacího lože.



Obr.2.14 Rámový lis pro sílu 1000 kN [7]

Rám typu C

Tento typ rámu tvoří jednolitý celek tvořený stojinou a stolem. Vyrábějí se z hlediska technologie jako odlitky nebo svařence. Mají dobrou tuhost a umožňují přesné lisování. Pracovník má dobrý přístup ze tří stran. Zpravidla jsou menší z důvodu tuhosti. Hydraulický agregát poháněný elektrickým motorem bývá umístěn uvnitř v rámu. Je konstruován pro síly (50 – 400) kN.



Obr. 2.15 Dílenský lis CDCR pro sílu 130 kN [5]



Obr. 2.16 Dílenský lis CDCR pro sílu 130 kN [5]

Příslušenství dílenských lisů:



Obr. 2.17 Příslušenství lisu [5]

Prizma – Slouží pro upínání kulatých předmětů.

Manometr – Slouží pro kontrolu tlaku v hydraulickém válci.

Deska s T drážkou – Pro snadnější upnutí předmětu ke stolu.

Přípravek na upnutí kulatiny – Pro vystředění součásti

3 Hydraulický obvod

Hydraulické zařízení jsem zvolil od firmy Yale [6]. Pro vyvození lisovací síly jsem zvolil Univerzální jednočinný hydraulický válec YS vybavený pružinou pro zpětný chod a hydraulické čerpadlo poháněné elektromotorem.

3.1 Řešení hydraulického obvodu

Hydraulický obvod tvoří:

1. Jedinotka hydraulického čerpadla

A - hydraulické čerpadlo neregulační s elektrickým pohonem

B – rozvaděč – 2/2 cestný, ručně ovládaný

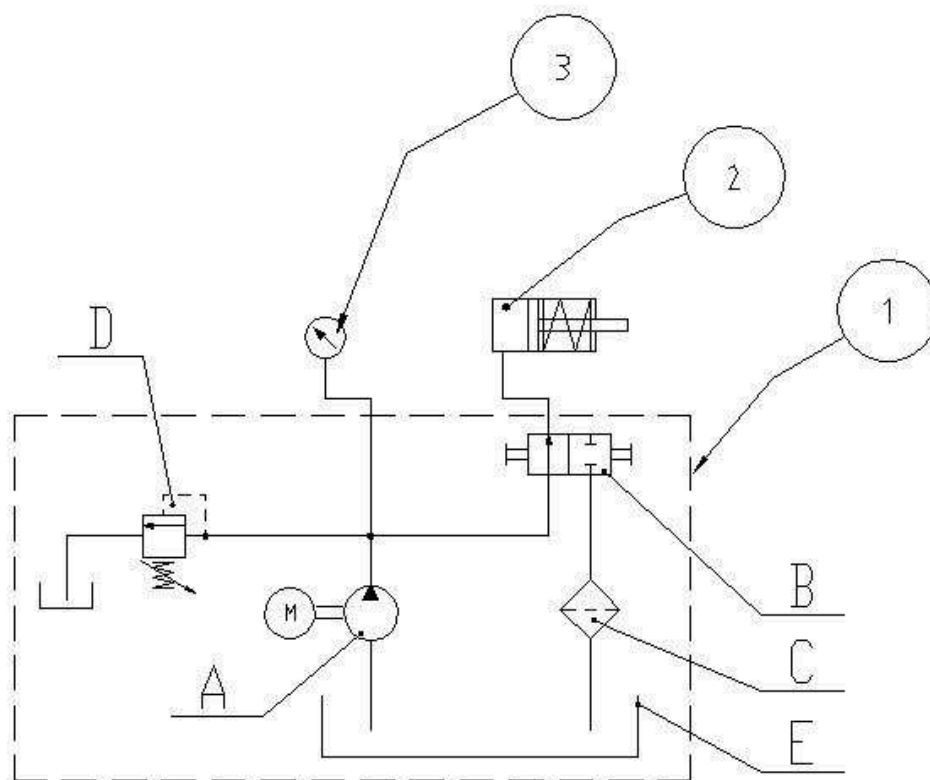
C – filtr

D – pojistný ventil

E – nádrž

2. Jednočinný hydraulický válec

3. Manometr



Obr. 3.1 Schéma hydraulického obvodu

3.2 Výpočet hydraulického obvodu

Maximální provozní tlak v hydraulickém obvodu předpokládám dle výrobce 70 MPa.

3.2.1 Hydraulický válec

Je vybaven vratnou pružinou pro zpětný chod a tudíž jedním vývodem pro tlakovou hadici. Tento hydraulický válec se hodí pro zabudování do různých zařízení nebo do dílenských lisů.

Parametry hydraulického válce YS – 23/345 [6]

Tab.3.1 Parametry hydraulického válce

Tlačná síla	Zdvih	Účinná plocha	Objem oleje	Výška	Průměr válce
F	l_z	S_e	V_o	l_v	D_v
[kN]	[mm]	[cm ²]	[cm ³]	[mm]	[mm]
230	345	32,9	1145	477	85

Potřebný tlak pro vyvození požadované lisovací síly 200 kN

$$p = \frac{F}{S_e} = \frac{200 \cdot 10^3}{32,9 \cdot 10^{-4}} = 60,79 \text{ MPa} \quad (3.1)$$

Dovolený tlak ve válci $p_{max} = 70 \text{ MPa} > p = 60,79 \text{ MPa}$. Tlak ve válci vyhovuje.

3.2.2 Hydraulické čerpadlo poháněné elektromotorem

Dvoustupňové kompaktní čerpadlo koncipované pro více druhů práce. Ideální kombinace ručního rozvaděče a dálkového ovládání kabelem dává obsluze možnost volného pohybu. Má 2/2 cestný ruční ventil pro jednočinné válce. Pracuje s maximálním tlakem 70 MPa.

Parametry hydraulického čerpadla PY – 04/2/5/2 M [6]

Tab.3.2 Parametry hydraulického čerpadla

Výtlač bez zátěže	Výtlač se zátěží	Kapacita nádrže	Motor
$Q_{\check{1}}$	$Q_{\check{2}}$	V	
[l/min]	[l/min]	[l]	[KW, V, min ⁻¹]
4	0,23	5	0,37, 230, 2800

Rychlost pístu bez zátěže – přibližování

$$v_P = \frac{Q_{\check{c}1}}{S_e} = \frac{4 \cdot 10^3}{32,9} = 121,58 \frac{cm}{min} = 20,26 \frac{mm}{s} \quad (3.2)$$

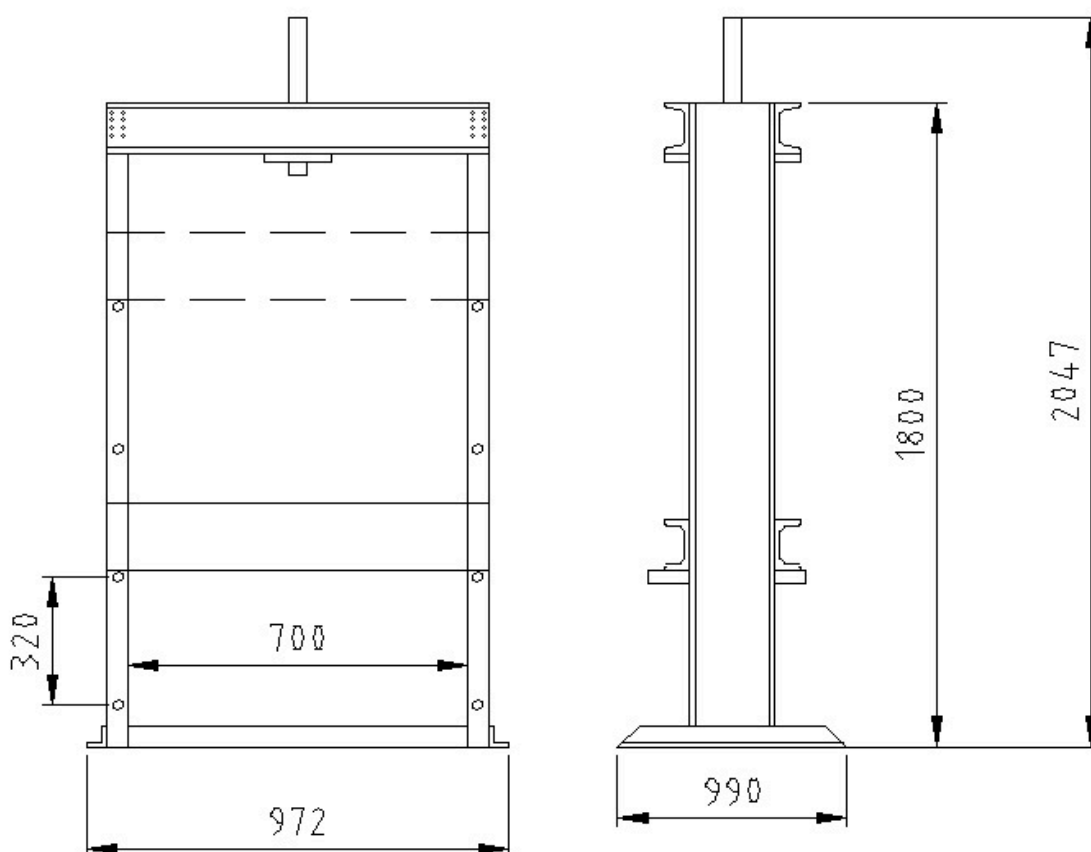
Rychlost zatíženého pístu - lisování

$$v_L = \frac{Q_{\check{c}1}}{S_e} = \frac{0,23 \cdot 10^3}{32,9} = 6,99 \frac{cm}{min} = 1,16 \frac{mm}{s} \quad (3.3)$$

Píst se bude pohybovat rychlostí v_P dokud se nedotkne součásti. Při dalším pohybu začne vzrůstat tlak ve válci a píst se bude pohybovat rychlostí v_L a bude lisovat.

4 Návrh rámu

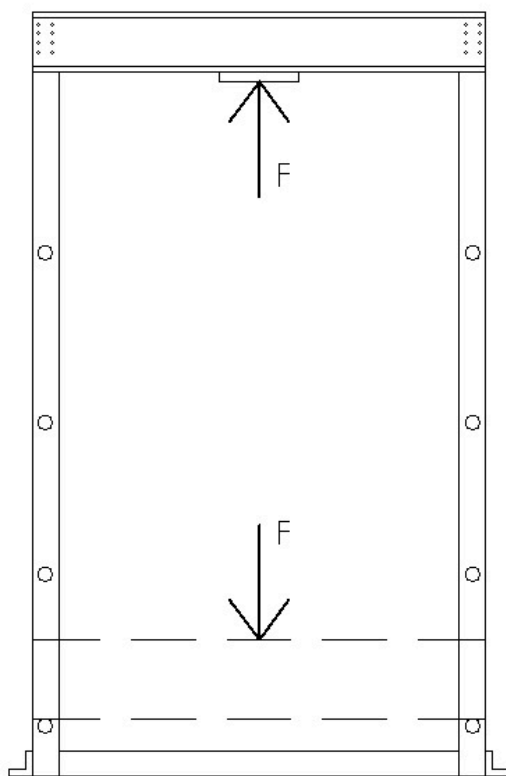
Rám lisu je uzavřený ve tvaru „H“, konstrukce je svařovaná až na stojiny, které jsou k hornímu příčnicku přinýtovány. Celý rám je tvořen z normalizovaných profilů. Horní nosník je složen z dvou tyčí průřezu U200x852, stojiny tvoří dvě tyče průřezu U 200x1800 a základnu tvoří dvě tyče průřezu L 60x60x6x990, které zajistí stabilitu lisu. Lisovací lože bude svařeno z profilu U 200 a bude vertikálně zajištěno čepy. Rozměry rámu vycházejí z požadavků zákazníka. Rám, musí být navrhnout tak, aby bezpečně přenesl velikost pracovní síly.



Obr. 4.1 Rozměry rámu

5 Pevnostní výpočty

Napětí v rámu vyvolává síla od hydraulického válce F , která působí na lisovací lože a horní nosník. Dále se napětí přenáší do stojin rámu. Je nutné pevnostně ověřit nejvíce namáhaná místa, stanovit maximální ohybové napětí v jednotlivých místech a spočítat statickou bezpečnost. Statická bezpečnost by neměla klesnout pod $k = 1,5$. Dále je nutné navrhnout čepy, které zajišťují polohu lisovacího lože. Vše bude nejprve analyticky spočítáno, poté bude vše zkontrolováno pomocí metody konečných prvků pomocí software Autodesk® Inventor profesionál 2013



Obr. 5.1 Působení sil v rámu

5.1 Analytické řešení

Rám budu řešit jako uzavřený křivý prut, který je však staticky neurčitý. Pomocí metody řezu dostanu staticky určitou úlohu. Rám pomyslně řežu podle osy v polovině a na oddělené konce zavedu silové účinky působení sil vůči sobě. Poté mohu řešit pouze polovinu rámu. Prutová soustava je pro zjednodušení kreslena v těžišti.

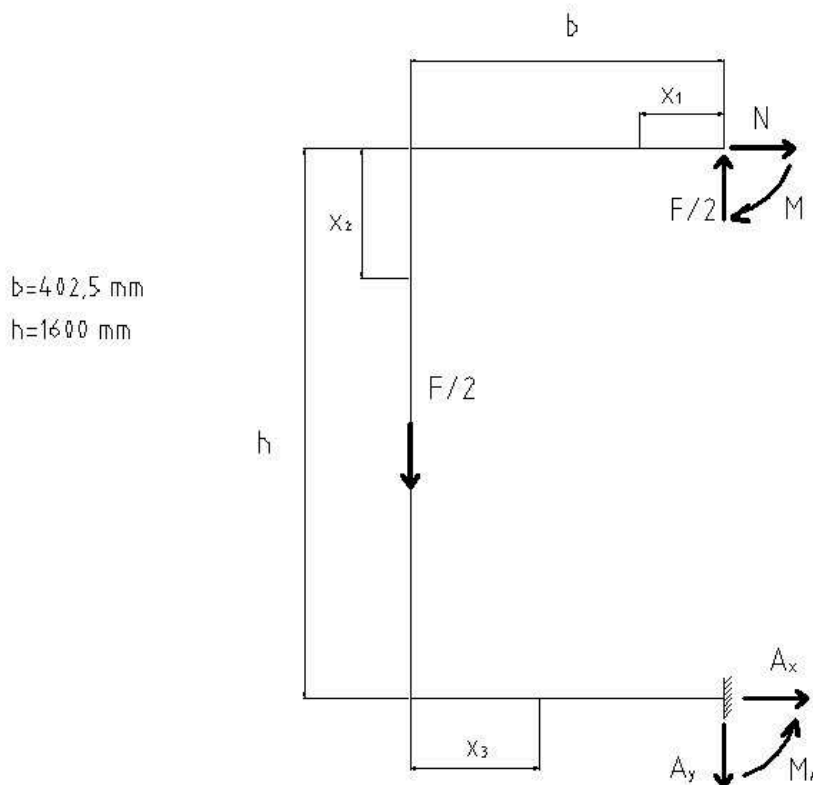
5.1.1 Určení momentů setrvačnosti a stanovení ohybových momentů

Při výpočtu jednotlivých průřezů, musím brát v úvahu, kolem které osy bude profil namáhán. Hodnoty J_{xU}, J_{yU}, J_L [3]

$$J_{z1} = 2 \cdot J_{xU} = 2 \cdot 1910 \cdot 10^{-8} = 3,82 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4 \quad (5.1)$$

$$J_{z2} = J_{yU} = 1370 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 \quad (5.2)$$

$$J_{z3} = 2 \cdot J_L = 2 \cdot 22,87 \cdot 10^{-8} = 4,574 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4 \quad (5.3)$$



Obr. 5.2 Zjednodušená prutová soustava

Rovnice rovnováhy

$$\sum F_{ix} = 0 \quad N + A_x = 0 \quad (5.4)$$

$$\sum F_{iy} = 0 \quad \frac{F}{2} - \frac{F}{2} + A_y = 0 \quad (5.5)$$

$$\sum M_{iA} = 0 \quad \frac{F}{2} \cdot b - N \cdot h + M_A - M = 0 \quad (5.6)$$

Hledané neznámé: A_x, A_y, M, M_A, N

Jelikož máme 5 neznámých a jen 3 rovnice, potřebujeme pro vyřešení určit dvě deformační podmínky.

Deformační podmínky

1. Natočení průřezu vlivem momentu M je nulové.

$$\varphi_M = 0 \quad (5.7)$$

2. Průhyb prutu vlivem síly N je nulové.

$$\omega_N = 0 \quad (5.8)$$

Ted' máme 5 rovnic a 5 neznámých, tedy statickou úlohu. Využitím Castiglianovy věty budou vypočteny deformace.

Základní rovnice Castiglianovy metody

$$\varphi_M = \frac{\partial U}{\partial M} = \frac{1}{E \cdot J} \cdot \int_0^l M(x) \cdot \frac{\partial M(x)}{\partial M} dx \quad (5.9)$$

$$\omega_N = \frac{\partial U}{\partial F} = \frac{1}{E \cdot J} \cdot \int_0^l M(x) \cdot \frac{\partial M(x)}{\partial F} dx \quad (5.10)$$

Vnitřní ohybové momenty v jednotlivých místech křivého prutu

$$M(x_1) = -M + \frac{F}{2} \cdot x_1 \quad x_1 \in < 0, b > \quad (5.11)$$

$$M(x_2) = M + N \cdot x_2 - \frac{F}{2} \cdot b \quad x_2 \in < 0, h > \quad (5.12)$$

$$M(x_3) = M + N \cdot h - \frac{F}{2} \cdot b \quad x_3 \in < 0, b > \quad (5.13)$$

Z rovnice 5.7 a 5.9 vyplývá

$$\begin{aligned} & \frac{1}{E \cdot J_{z1}} \cdot \int_0^b \left(-M + \frac{F}{2} \cdot x_1 \right) \cdot (-1) dx_1 + \frac{1}{E \cdot J_{z2}} \cdot \int_0^h \left(M + N \cdot x_2 - \frac{F}{2} \cdot b \right) dx_2 + \frac{1}{E \cdot J_{z3}} \\ & \cdot \int_0^b \left(M + N \cdot h - \frac{F}{2} \cdot b \right) dx_3 = 0 \end{aligned}$$

$$\frac{M \cdot b}{E \cdot J_{z1}} - \frac{F \cdot b^2}{E \cdot J_{z1} \cdot 4} + \frac{M \cdot h}{E \cdot J_{z2}} + \frac{N \cdot h^2}{E \cdot J_{z2} \cdot 2} - \frac{F \cdot b \cdot h}{E \cdot J_{z2} \cdot 2} + \frac{M \cdot b}{E \cdot J_{z3}} + \frac{N \cdot h \cdot b}{E \cdot J_{z3}} - \frac{F \cdot b^2}{E \cdot J_{z3} \cdot 2} = 0$$

$$\begin{aligned} & \frac{M \cdot 0,4027}{3,82 \cdot 10^{-5}} - \frac{20 \cdot 10^4 \cdot 0,4027}{3,82 \cdot 10^{-5} \cdot 4} + \frac{M \cdot 1,6}{1,37 \cdot 10^{-5}} + \frac{N \cdot 1,6^2}{4,574 \cdot 10^{-7}} - \frac{20 \cdot 10^4 \cdot 0,4027 \cdot 1,6}{1,37 \cdot 10^{-5} \cdot 2} \\ & + \frac{M \cdot 0,4027}{4,574 \cdot 10^{-7}} + \frac{N \cdot 1,6 \cdot 0,4027}{4,574 \cdot 10^{-7}} - \frac{20 \cdot 10^4 \cdot 0,4027^2}{4,574 \cdot 10^{-7} \cdot 2} = 0 \end{aligned}$$

Úprava:

$$M \cdot \left(\frac{0,4027}{3,82 \cdot 10^{-5}} + \frac{1,6}{1,37 \cdot 10^{-5}} + \frac{0,4027}{4,574 \cdot 10^{-7}} \right) + N \cdot \left(\frac{1,6^2}{1,37 \cdot 10^{-5} \cdot 2} + \frac{1,6 \cdot 0,4027}{4,574 \cdot 10^{-7}} \right) \\ = \frac{20 \cdot 10^4 \cdot 0,4027}{3,82 \cdot 10^{-5} \cdot 4} + \frac{20 \cdot 10^4 \cdot 0,4027 \cdot 1,6}{1,37 \cdot 10^{-5} \cdot 2} + \frac{20 \cdot 10^4 \cdot 0,4027^2}{4,574 \cdot 10^{-7} \cdot 2}$$

Z rovnice 5.8 a 5.10 vyplívá

$$\frac{1}{E \cdot J_{z1}} \cdot \int_0^b \left(-M + \frac{F}{2} \cdot x_1 \right) \cdot 0 \, dx_1 + \frac{1}{E \cdot J_{z2}} \cdot \int_0^h \left(M + N \cdot x_2 - \frac{F}{2} \cdot b \right) dx_2 + \frac{1}{E \cdot J_{z3}} \\ \cdot \int_0^b \left(M + N \cdot h - \frac{F}{2} \cdot b \right) \cdot h \, dx_3 = 0$$

$$\frac{M \cdot h^2}{E \cdot J_{z2}} + \frac{N \cdot h^3}{E \cdot J_{z2} \cdot 3} - \frac{F \cdot b \cdot h^2}{E \cdot J_{z2} \cdot 4} + \frac{M \cdot h \cdot b}{E \cdot J_{z3}} + \frac{N \cdot h^2 \cdot b}{E \cdot J_{z3}} - \frac{F \cdot b^2 \cdot h}{E \cdot J_{z3} \cdot 2} = 0$$

$$\frac{M \cdot 1,6}{1,37 \cdot 10^{-5} \cdot 2} + \frac{N \cdot 1,6^3}{1,37 \cdot 10^{-5} \cdot 3} - \frac{20 \cdot 10^4 \cdot 0,4027 \cdot 1,6}{1,37 \cdot 10^{-5} \cdot 4} + \frac{M \cdot 1,6 \cdot 0,4027}{4,574 \cdot 10^{-7}} \\ + \frac{N \cdot 1,6^2 \cdot 0,4027}{4,574 \cdot 10^{-7}} - \frac{20 \cdot 10^4 \cdot 0,4027^2 \cdot 1,6}{4,574 \cdot 10^{-7} \cdot 2} = 0$$

Úprava:

$$M \cdot \left(\frac{1,6^2}{1,37 \cdot 10^{-5}} + \frac{1,6 \cdot 0,4027}{4,574 \cdot 10^{-7}} \right) + N \cdot \left(\frac{1,6^3}{1,37 \cdot 10^{-5} \cdot 2} + \frac{1,6^2 \cdot 0,4027}{4,574 \cdot 10^{-7}} \right) \\ = \frac{20 \cdot 10^4 \cdot 0,4027 \cdot 1,6^2}{1,37 \cdot 10^{-5} \cdot 4} + \frac{20 \cdot 10^4 \cdot 0,4027^2 \cdot 1,6}{4,574 \cdot 10^{-7} \cdot 2}$$

Z úprav:

$$M = 54208,82 \, N \cdot m$$

$$N = -5791,9 \, N$$

Z rovnic 4.1, 4.2, 4.3

$$A_x = -N = 5791,9 \, N$$

$$A_y = 0 \, N$$

$$M_A = M - \frac{F}{2} \cdot b + N \cdot h = 54208,82 - \frac{200000}{2} \cdot 0,4027 - 5791,9 \cdot 1,6 \\ = 4671,78 \, N \cdot m$$

Velikost ohybových momentů v rámu

Podle rovnice 5.11

$$x_1 = 0 \text{ m}$$

$$M(x_1) = -M + \frac{F}{2} \cdot x_1 = -54208,82 + \frac{200000}{2} \cdot 0 = -54208,82 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (5.14)$$

$$x_1 = b = 0,4027 \text{ m}$$

$$M(x_1) = -M + \frac{F}{2} \cdot x_1 = -54208,82 + \frac{200000}{2} \cdot 0,4027 = -13938,82 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (5.15)$$

Podle rovnice 5.12

$$x_2 = 0 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M(x_2) &= M + N \cdot x_2 - \frac{F}{2} \cdot b = 54208,852 - 5791,9 \cdot 0 - \frac{200000}{2} \cdot 0,4027 \\ &= 4671,78 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned} \quad (5.16)$$

$$x_2 = h = 1,6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M(x_2) &= M + N \cdot x_2 - \frac{F}{2} \cdot b = 54208,852 - 5791,9 \cdot 1,6 - \frac{200000}{2} \cdot 0,4027 \\ &= 4671,78 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned} \quad (5.17)$$

Podle rovnice 5.13

$$x_3 = 0 \text{ m}$$

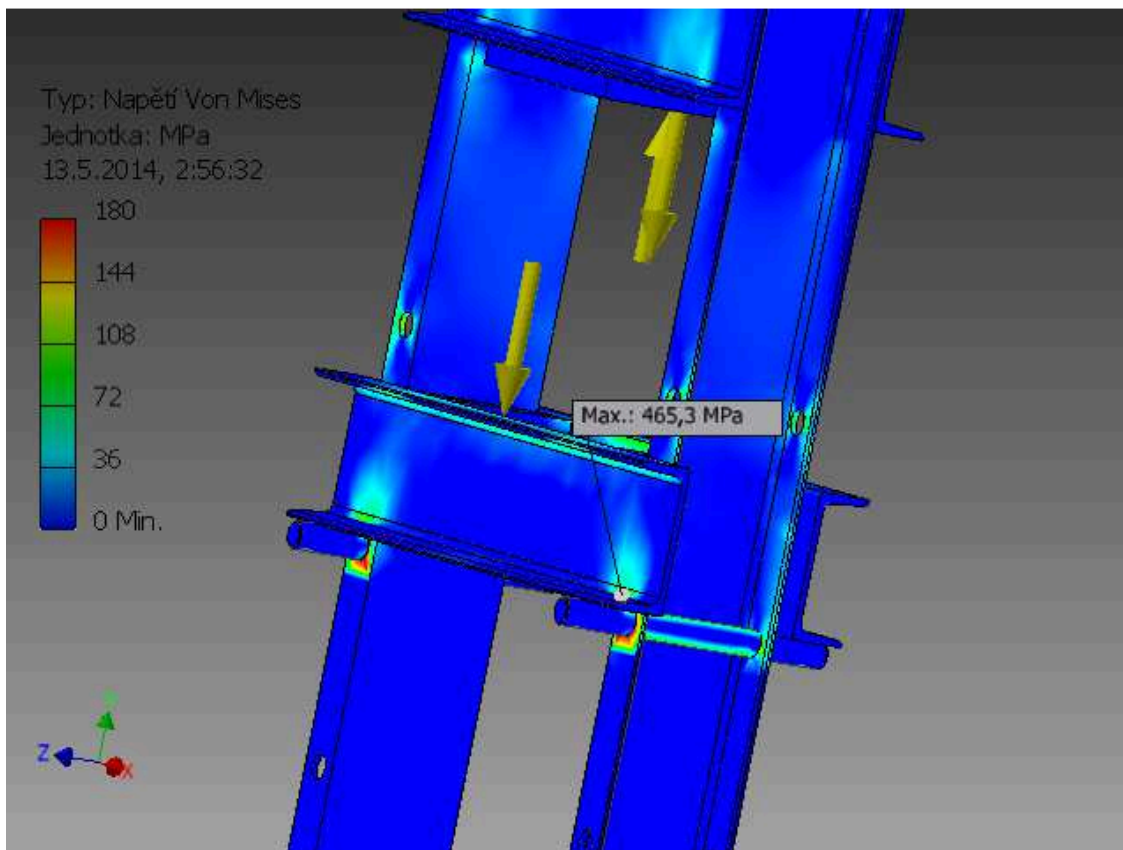
$$\begin{aligned} M(x_3) &= M + N \cdot h - \frac{F}{2} \cdot x_3 = 54208,82 - 5791,9 \cdot 1,6 - \frac{200000}{2} \cdot 0 \\ &= 44941,78 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned} \quad (5.18)$$

$$x_3 = b = 0,4027 \text{ m}$$

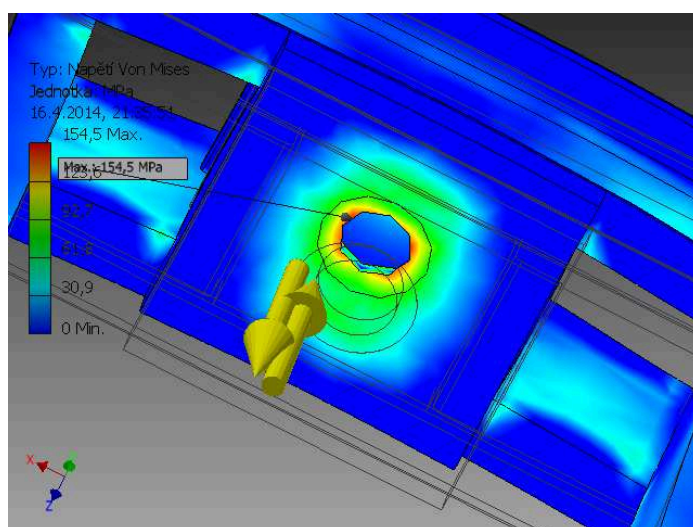
$$\begin{aligned} M(x_3) &= M + N \cdot h - \frac{F}{2} \cdot x_3 = 54208,82 - 5791,9 \cdot 1,6 - \frac{200000}{2} \cdot 0,4027 \\ &= 4671,78 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned} \quad (5.19)$$

5.2 Řešení metodou konečných prvků

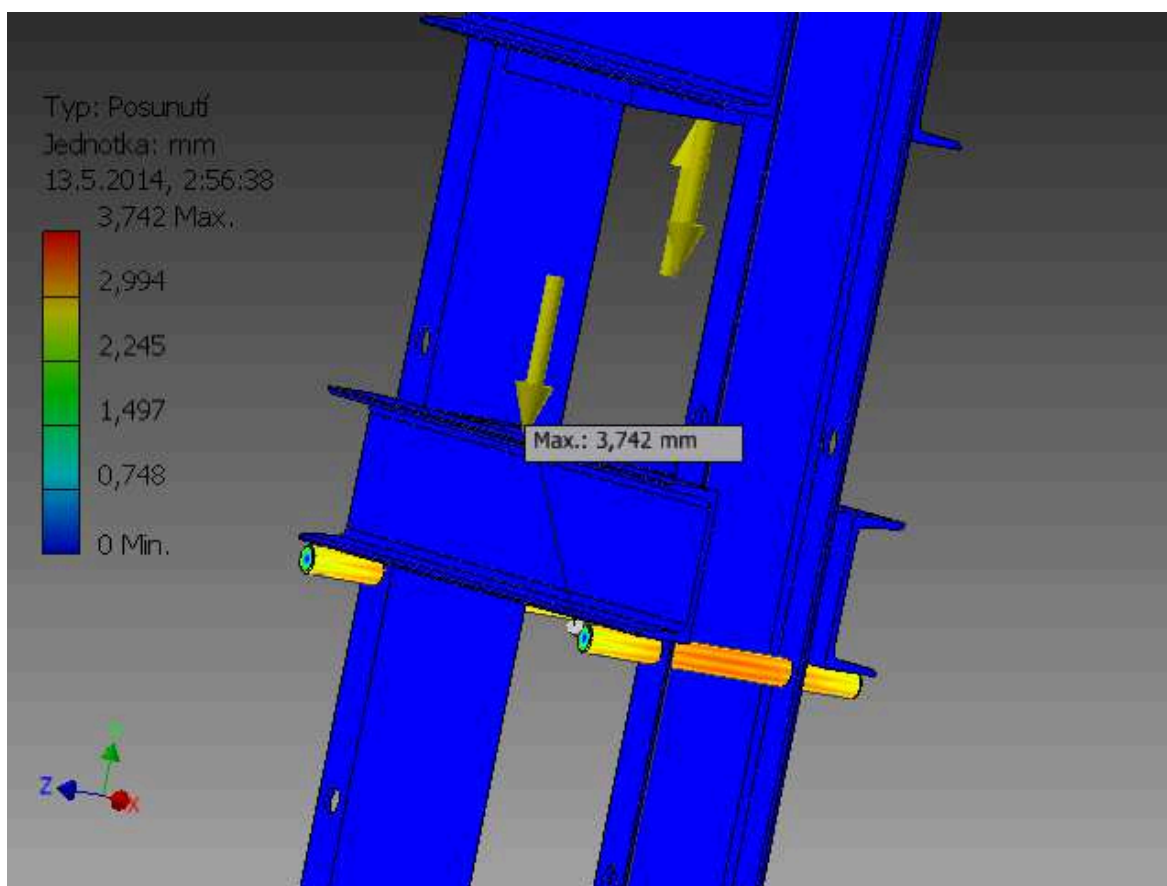
Vypočet proveden v programu Autodesk® Inventor profesionál 2013.



Obr. 5.3 Redukované napětí HMH



Obr. 5.4 Detail redukovaného napětí HMH v rámu



Obr. 5.5 Deformace

Statická bezpečnost rámu

Materiál rámu je ocel 11 523.0 kde $R_e = 333 \text{ MPa}$ [3]

$$k = \frac{R_e}{\sigma_o} = \frac{333}{154,5} = 2,15 \quad (5.20)$$

Rám dílenského lisu vyhovuje.

Statická bezpečnost čepu

Materiál rámu je ocel 15 230.7 kde $R_e = 835 \text{ MPa}$ [3]

$$k = \frac{R_e}{\sigma_o} = \frac{835}{465,3} = 1,79 \quad (5.21)$$

Čep vyhovuje.

Na obrázcích analýzy je vidět, že největší napětí a deformace je v čepích, které zajišťují lisovací lože. Pro zjištění napětí v rámu jsem musel zmenšit rozsah stupnice.

5.3 Kontrola nebezpečných míst lisu

Kontrola bude provedena na základě vypočtených ohybových momentů v rámu. Rám je tvořen dvěma stojinami, horním nosníkem, lisovacím ložem a dvěma čepy.

5.3.1 Horní nosník

Nosník tvoří dvě normalizované tyče průřezu U 200/A ČSN 42 5570. Kontrolu provedu na ohyb vzniklý od síly hydraulického válce.

$$M_{omax} = 54208,82 \text{ N} \cdot \text{m} \text{ obr. 5.3}$$

$$W_o = 191\,000 \text{ mm}^3 [3]$$

Ohybové napětí

$$\sigma_o = \frac{M_{omax}}{2 \cdot W_o} = \frac{54208,82 \cdot 10^3}{191000} = 141,9 \text{ MPa} \quad (5.22)$$

Statická bezpečnost

$$k = \frac{R_e}{\sigma_o} = \frac{333}{141,9} = 2,35 \quad (5.23)$$

Statická bezpečnost horního nosníku je větší než 1,5 \rightarrow VYHOVUJE

5.3.2 Stojiny rámu

Provedu kontrolu celkového napětí ve stojině tvořené profilem UPE200 ČSN 42 5572, které bude složeno z tahu a ohybu. Předpokládám, že na každou stojinu bude působit polovina síly $F = 100 \text{ kN}$. Ve stojině bude několik otvorů pro čepy, které zeslabí profil. Proto uvažuji nejužší místo, kde je otvor pro čep průměru 38 mm

$$M_{omax} = 13938,82 \text{ N} \cdot \text{m} \text{ z rovnice (5.14)}$$

$$W_o = 154\,000 \text{ mm}^3 [3]$$

$$S_1 = 2350 \text{ mm}^2, S_2 = 760 \text{ mm}^2 \text{ určeno pomocí Autodesk}^{\text{®}} \text{ Inventor professional 2013}$$

Ohybové napětí

$$\sigma_o = \frac{M_{omax}}{W_o} = \frac{13938,82 \cdot 10^3}{154000} = 90,84 \text{ MPa} \quad (5.24)$$

Tahové napětí

$$\sigma_t = \frac{F}{S} = \frac{F}{S_1 - S_2} = \frac{100000}{2350 - 760} = 82,24 \text{ MPa} \quad (5.25)$$

Celkové napětí

$$\sigma = \sigma_o + \sigma_t = 90,84 + 82,24 = 173,1 \text{ MPa} \quad (5.26)$$

Statická bezpečnost

$$k = \frac{R_e}{\sigma_o} = \frac{333}{173,1} = 1,92 \quad (5.27)$$

Statická bezpečnost stojiny je větší než 1,5 → *VYHOVUJE*

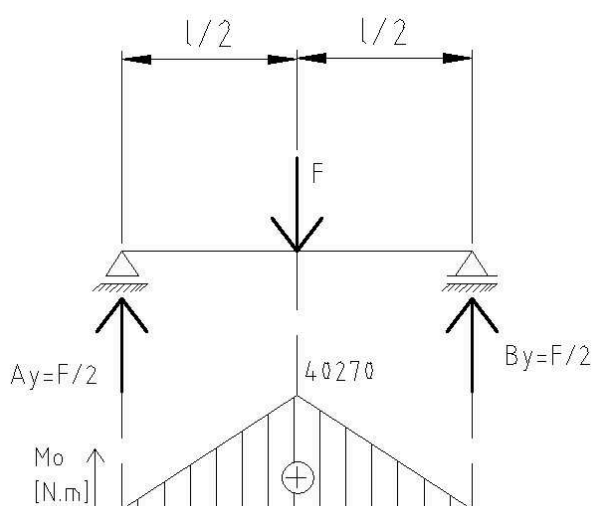
5.3.3 Lisovací lože

Lože tvoří dvě normalizované tyče průřezu U 200/A ČSN 42 5570. Kontrolu provedu na ohyb vyvozený silou hydraulického válce uprostřed tyče.

$$F = 200 \text{ kN}$$

$$b = 402,7 \text{ mm} \text{ obr. 5.6}$$

$$W_o = 191\,000 \text{ mm}^3 \text{ [3]}$$



Obr. 5.6 Průběh ohybového momentu

Ohybové napětí

$$\sigma_o = \frac{M_{omax}}{2 \cdot W_o} = \frac{\frac{F}{2} \cdot \frac{l}{2}}{2 \cdot W_o} = \frac{\frac{200 \cdot 10^3}{2} \cdot 402,7}{2 \cdot 191\,000} = 105,42 \text{ MPa} \quad (5.28)$$

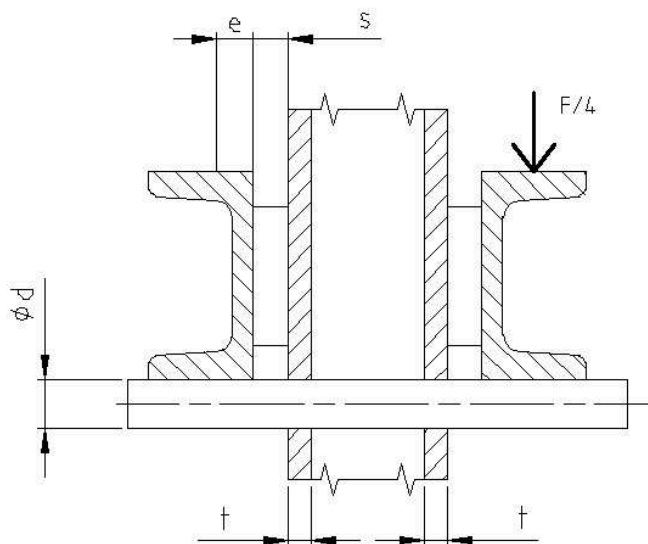
Statická bezpečnost

$$k = \frac{R_e}{\sigma_o} = \frac{333}{105,42} = 3,16 \quad (5.29)$$

Statická bezpečnost horního nosníku je větší než 1,5 → *VYHOVUJE*

5.3.4 Čep

Čepy slouží pro zajištění lisovacího lože. Kontrolu provedu na ohyb od lisovacího lože a na otlacení v uložení. Síla od hydraulického válce bude působit čtvrtinovou silou v těžišti profilu U na čep viz. obr. 5.8. Materiál čepu volím 15 230.7 s mezí kluzu $R_e = 835 \text{ MPa}$ [3]



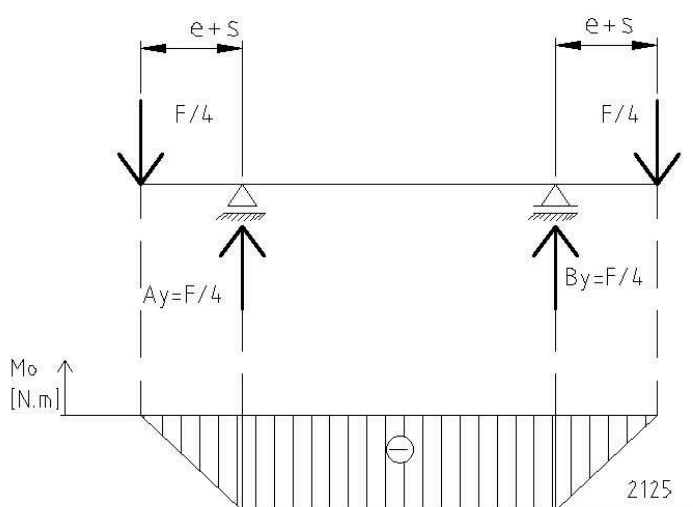
Obr. 5.7 Zatížení čepů

$$F = 200 \text{ kN}$$

$$e = 20,1 \text{ mm [3]}$$

$$d = 38 \text{ mm}$$

$$s = 5 \text{ mm}$$



Obr. 5.8 Průběh zatížení

a) Kontrola čepu na ohyb

Ohybové napětí

$$\sigma_o = \frac{M_{omax}}{W_o} = \frac{\frac{F}{4} \cdot (e + s)}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} = \frac{\frac{200 \cdot 10^3}{4} \cdot (20,1 + 5)}{\frac{\pi \cdot 38^3}{32}} = 232,96 MPa \quad (5.30)$$

Statická bezpečnost

$$k = \frac{R_e}{\sigma_o} = \frac{835}{232,96} = 3,58 \quad (5.31)$$

Statická bezpečnost čepu je větší než 1,5 \rightarrow *VYHOVUJE*

b) Kontrola uložení na otlačení

$$t_2 = 9 \text{ mm}$$

$$p_D = 150 \text{ MPa dle [3]}$$

Tlak působící v uložení čepu

$$p = \frac{\frac{F}{4}}{S} = \frac{\frac{F}{4}}{t_2 \cdot d} = \frac{\frac{200 \cdot 10^3}{4}}{9 \cdot 38} = 146,19 \text{ MPa} \quad (5.32)$$

Tlak v uložení $p < p_D = 150 \text{ MPa} \rightarrow$ *VHOVUJE*

5.3.5 Spojení stojin s horním nosníkem pomocí nýtů

Toto spojení lze řešit několika způsoby. Je možné použít šrouby, které musí vydržet velkou osovou sílu, aby vytvořily potřebnou třecí sílu. Další možností je použít čep, který přeneseme střížnou sílu a pojistit to šrouby a nebo použít koutový svar. Já zvolil spojení pomocí nýtů. Kontrolu provedu na smyk a otlačení.

Materiál nýtů volím ocel 11 343 kde $R_e = 180 \text{ MPa}$ [3]

$$p_D = 150 \text{ MPa dle [1]}$$

$$s_1 = 8,5 \text{ mm obr. 5.9}$$

$$s_2 = 5,2 \text{ mm obr. 5.9}$$

Bezpečnost volím $k_s = 1,5$

Dovolené namáhání ve smyku

$$\tau_{Ds} = \frac{0,577 \cdot R_e}{k_s} = \frac{0,577 \cdot 180}{1,5} = 69,24 \text{ MPa} \quad (5.33)$$

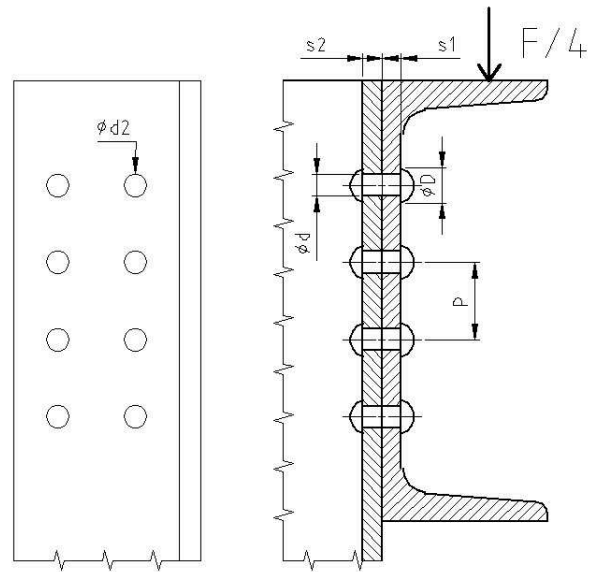
Návrh velikosti a počtu nýtů

Průměr nýtu z podmínky

$d = 2 \cdot s$ při tloušťce plechu $s \leq 12 \text{ mm}$

$$d = 2 \cdot s_2 = 2 \cdot 5,2 = 10,4 \text{ mm} \Rightarrow d = 10 \text{ mm}$$

Průměr otvoru pro nýt $d_2 = 11 \text{ mm}$ [3]



obr. 5.9 Zatížení nýtu

Délka nýtu

$$l = s_1 + s_2 + (1,2 \div 1,5) \cdot d = 8,5 + 5,2 + (1,2 \div 1,5) \cdot 10 = 25,7 \div 28,7 \Rightarrow 26 \text{ mm}$$

NÝT 10x26 ČSN 02 2301.1 (5.34)

Počet nýtů pro přenesení síly $\frac{F}{4} = 50 \text{ kN}$

$$n \geq \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d_2^2 \cdot \tau_{Ds}} = \frac{4 \cdot 50 \cdot 10^3}{\pi \cdot 11^2 \cdot 69,24} = 7,59 \Rightarrow 8 \text{ nýtů} \quad (5.35)$$

Pro přenesení síly je potřeba 8 nýtů

Kontrola na smyk

$$\tau_s = \frac{F}{n \cdot S} = \frac{50 \cdot 10^3}{8 \cdot \frac{\pi \cdot 11^2}{4}} = 65,76 \text{ MPa} \quad (5.36)$$

Namáhání ve smyku $\tau_s < \tau_{Ds} = 69,24 \text{ MPa}$ VYHOVUJE

Kontrola na otláčení

$$p = \frac{F}{S} = \frac{F}{d_2 \cdot s_2 \cdot n} = \frac{50 \cdot 10^3}{11 \cdot 5,2 \cdot 8} = 109,26 \text{ MPa} \quad (5.37)$$

Tlak v otvoru pro nýt $p < p_D = 150 \text{ MPa} \rightarrow \text{VHOVUJE}$

6 Závěr

Úkolem práce bylo navrhnout dílenský rámový lis s hydraulickým čerpadlem pro lisovací sílu do 20 tun.

V první kapitole mám definici lisů a obecně jsem rozdělil lisy podle vyvozené lisovací síly. Dále jsem se zaměřil na dílenské lisy, které jsem rozdělil podle zdroje tlakové energie a podle konstrukce rámu. V dalších kapitolách jsem postupně navrhoval rám pro zadanou sílu 200 kN. Zvolil jsem dle zadání pohon hydraulické čerpadlo poháněné elektromotorem a jednočinný hydraulický válec od firmy Yale. Vhodně jsem zvolil rozměry rámu, který je tvořen normalizovanými tyčemi profily U a L.

Analyticky jsem vyřešil silové působení v rámu. Poté jsem provedl druhé řešení pomocí metody konečných prvků. Z této metody vyplývá, že průběh deformací a napětí v rámu přibližně odpovídají analytickému řešení a také statická bezpečnost rámu neklesla pod stanovenou hodnotu $k=1,5$. Nejvíce namáhané části lisu jsem zkontroloval analyticky, kde u všech nebezpečných míst vyšla bezpečnost vyšší jak $k=1,5$ a podmínka byla splněna.

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Danielu Pišťáčkovi Ph. D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky při zpracování.

7 Seznam použité literatury

- [1] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře. Části spojovací*. Skriptum VŠB-TU Ostrava. Ostrava, 2014. ISBN 978-80-248-1290-8
- [2] NĚMČEK, Miloš. *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů*. Skriptum VŠB-TU Ostrava. Ostrava, 2002. ISBN 80-248-0050-0
- [3] LEINVEBER, J. - VÁVRA, P. *Strojnické tabulky. Třetí doplněné vydání*. Albra, Úvaly, 2005. 907 s. ISBN 80-7361-033-7
- [4] LENERT, Jiří. *Pružnost a pevnost II*. Skriptum VŠB-TU Ostrava. Ostrava, 2000. ISBN 80-7078-572-1.
- [5] *katalog TOS Rakovník, Rakovnické tvářecí stroje s.r.o.*
Dostupné z: <http://www.tosrakovník.cz> [cit.2014-12-05]
- [6] *katalog Yale, Procházka MP s.r.o.*
Dostupné z: <http://www.yale-czech.cz> [cit.2014-12-05].
- [7] [officinamilani.com](http://www.officinamilani.com). [online]. [cit.2014-12-05]. Dostupné z:
<<http://www.officinamilani.com/altri-prodotti/presse-idrauliche.html>>
- [8] cs.wikipedia.org. [online]. [cit.2014-12-05].
Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Lis>>
- [9] [azvercajk.cz](http://www.azvercajk.cz). [online]. [cit.2014-12-05].
Dostupné z:<<http://www.azvercajk.cz/12834-lisy-hydraulicke/22842-lis-hydraulicky-dilensky-lis-wp-20-t/>>
- [10] [zdas.cz](http://www.zdas.cz). [online]. [cit.2014-12-05].
Dostupné z: <<http://www.zdas.cz/cs/content.aspx?catid=20>>
- [11] [strojesvoboda.cz](http://www.strojesvoboda.cz). [online]. [cit.2014-12-05]. Dostupné z :
<<http://www.strojesvoboda.cz/katalog>>
- [12] [rkmetal.cz](http://www.rkmetal.cz). [online]. [cit.2014-12-05]. Dostupné z :
<<http://rkmetal.cz/zarizeni.html>>
- [13] [svettisku.cz](http://www.svettisku.cz). [online]. [cit.2014-12-05]. Dostupné z :
http://www.svettisku.cz/buxus/generate_page.php?page_id=202

[14] DEJL, Zdeněk.: *Konstrukce strojů a zařízení I – Spojovací části strojů*. Montanex a.s. Ostrava, 2000. ISBN 80-7225-018-3.

[15] staticstools.eu. [online]. [cit.2014-12-05]. Dostupné z :

http://www.staticstools.eu/profil_UPE.php?profil=UPE+200&act=zobraz&lang=CS&je=0

Seznam příloh

Příloha A	Sestavný výkres rámového lisu	BP - GRU0029 – 01 – 00
Příloha B	Seznam položek	BP - GRU0029 – 01 – 00 K
Příloha C	Výrobní výkres lisovacího lože	BP - GRU0029 – 01 – 02